



TITLE:

Development and Application of Virtual Sensing Technologies in Process Industries(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Zhang, Xinmin

CITATION:

Zhang, Xinmin. Development and Application of Virtual Sensing Technologies in Process Industries. 京都大学, 2019, 博士(情報学)

ISSUE DATE:

2019-03-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21917>

RIGHT:

許諾条件により本文は2020-03-01に公開

博士学位論文調査報告書

論文題目

Development and Application of Virtual Sensing Technologies
in Process Industries
(プロセス産業における仮想計測技術の開発と応用)

申請者氏名 Zhang, Xinmin (張新民)

最終学歴 平成27年3月
瀋陽化工大学大学院情報工学研究科 情報通信工学専攻修士課程 修了
平成31年3月
京都大学大学院情報学研究科 システム科学専攻博士後期課程
研究指導認定見込

学識確認 平成 年 月 日 (論文博士のみ)

論文調査委員 京都大学大学院情報学研究科
(調査委員長) 教授 加納 学

論文調査委員 京都大学大学院情報学研究科
教授 杉江 俊治

論文調査委員 京都大学大学院情報学研究科
教授 大塚 敏之

(続紙 1)

京都大学	博士（情報学）	氏名	Zhang, Xinmin（張新民）
論文題目	Development and Application of Virtual Sensing Technologies in Process Industries （プロセス産業における仮想計測技術の開発と応用）		
(論文内容の要旨)			
<p>In process industry, it is important to monitor product quality or other key variables in real time. However, in some cases, online measurement of quality variables is difficult or even impossible due to limitations of hardware analyzers, which are time-consuming maintenance, needing for calibration, aged deterioration, long dead-time, and slow dynamics as clarified via the questionnaire survey in Japan. Virtual sensing technology is a solution to these problems and can predict product quality in real time. This thesis focuses on the development and application of new virtual sensing technologies in process industries. This thesis consists of six chapters.</p> <p>Chapter 1 gives the research motivations, research backgrounds, and research objectives of this thesis.</p> <p>Chapter 2 proposes a novel adaptive virtual sensor called locally weighted kernel PLS (LW-KPLS). Unlike the conventional locally weighted PLS (LW-PLS), LW-KPLS weights the training samples by using sparse kernel feature characterization factors (SKFCFs), which take account of the strength of nonlinear dependency between samples in the Hilbert feature space. By integrating the nonlinear features into the locally weighted regression framework, LW-KPLS not only can cope with the time-varying characteristics but also is more suitable for highly nonlinear processes. The superiority of the proposed LW-KPLS was validated through a numerical example, a penicillin fermentation process, and a real industrial cleaning process for residual drug substances.</p> <p>Chapter 3 proposes a novel quality-relevant independent component regression (QR-ICR) method. Unlike the conventional ICR, QR-ICR extracts independent components (ICs) using a quality-relevant independent component analysis (QR-ICA) algorithm, which simultaneously maximizes the non-Gaussianity of ICs and statistical dependency between ICs and quality variables. Meanwhile, two new types of statistical criteria, called cumulative percent relevance (CPR) and Max-Dependency (Max-Dep), are proposed to rank the order and determine the number of ICs according to their contributions to quality variables. The superiority of the proposed QR-ICR(CPR) and QR-ICR(Max-Dep) methods were validated through a vinyl acetate monomer production process and a benchmark near-infrared spectral data.</p>			

Chapter 4 proposes a novel ensemble pattern trees (EPT) model to predict hot metal temperature in blast furnace. EPT is a robust nonlinear modeling method, which overcomes the drawback of single pattern trees which may not be robust enough against the random variations such as process perturbations and noises in the blast furnace. In addition, a novel variable importance measure is proposed to understand which process variables affect the final hot metal quality. The superiority of the EPT model and variable importance measure was validated through an industrial blast furnace ironmaking process.

Chapter 5 proposes a random forest-based quality prediction and root causes identification system to predict the occurrence of defects online in steel products and identify the root causes that may lead to the defects. The unique characteristics of the observed defect data such as nonnegative integers, highly-skewed distribution, and overdispersion make the traditional probability models difficult to use. In comparison, random forest (RF) is a non-parametric or distribution-free model. Furthermore, RF can ensure the nonnegativity of the prediction, and thus it is suitable for defect count data modeling. In addition, RF has the advantage of providing variable importance measure. The superiority of the RF model was validated through its application to the real defect data of a steelmaking plant.

Chapter 6 summarizes the contributions of this thesis and provides suggestions for future work.

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(論文審査の結果の要旨)

プロセス産業ではオンライン計測が困難な製品特性を管理または制御するために仮想計測技術が用いられる。仮想計測では、測定が容易な温度や流量などのプロセス変数を説明変数、製品特性を目的変数として、統計的な手法を用いてモデルを構築することが多い。本論文では、様々な状況において、仮想計測の予測性能を向上させることを目的に、いくつかの新しいモデル構築方法を提案すると共に、実際の製造プロセスの操業データへの適用を通して、提案法の有効性を示している。具体的には、以下に示す研究成果を得ている。

- (1) 装置特性の変化や非線形性に対応できるlocally weighted PLS (LW-PLS)をもとに、非線形性をより適切に捉えるために、sparse kernel feature characterization factors (SKFCFs)に基づいてサンプルに重み付けを行うlocally weighted kernel PLS (LW-KPLS)を提案し、数値例および洗浄プロセスでの残留薬物量の推定問題への適用を通して、予測性能を大きく向上させられることを示した。
- (2) 非正規性に加えて、目的変数である製品品質と独立成分の依存性を最大化するquality-relevant independent component regression (QR-ICR)を提案した。また、採用する独立成分を決定するための指標としてcumulative percent relevanceとMax-Dependencyを提案した。酢酸ビニル製造プロセスおよび近赤外スペクトルへの適用を通して、提案法が従来法よりも優れていることを示した。
- (3) ランダムフォレストが様々な分野で活用されているが、より高い予測性能を実現するために、決定木に代えてパターン木を用いるensemble pattern trees (EPT)を提案するとともに、新たな変数重要度を提示した。EPTを高炉の溶銑温度予測問題に適用し、高い予測性能が実現できることを確認するとともに、溶銑温度に強く関連するプロセス変数を特定した。
- (4) 鉄鋼製品の内部欠陥数を予測すると共に、欠陥発生要因を特定するために、実データを用いてポアソン回帰やランダムフォレストなど様々な方法を比較した。その結果、非負、高い歪度、過分散といった特徴を持つ欠陥数データに対してはランダムフォレストが有効であることを示した。

以上を要するに、本論文は、プロセス産業で重要な仮想計測や要因解析に有用な新しいモデル構築方法および変数重要度評価方法を提案し、それらを数値例のみならず実際のプロセス操業データに適用することで、提案法が有用であり、かつ既存手法よりも優れていることを実証しているものであり、その成果は学術上および実用上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものとして認める。また、平成31年2月13日に論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。

注) 論文審査の結果の要旨の結句には、学位論文の審査についての認定を明記すること。更に、試問の結果の要旨（例えば「平成 年 月 日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。」）を付け加えること。

Webでの即日公開を希望しない場合は、以下に公開可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降